



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS
EN IMAGENES DE CADERA EN PERSONAS SOMETIDAS
A CIRUGÍA DE CADERA EN LA UMAE LOMAS
VERDES IMSS

REPORTE DE PRÁCTICA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN FÍSICA BIOMÉDICA

P R E S E N T A :

DIEGO MEDEL GARDUÑO

TUTORES:

M EN C. GRISELDA ADRIANA CRUZ PRIEGO

Ciudad Universitaria, CDMX, 2024



Agradecimientos

Índice general

Agradecimientos	I
1 Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	1
2 Marco Teórico	2
2.1 Sistema óseo	2
2.1.1 Generalidades	2
2.1.2 Histología del sistema óseo	4
2.2 Desequilibrio entre la síntesis y la resorción del tejido óseo	6
2.3 Fracturas del fémur proximal	9
3 Objetivos	10
4 Materiales y Métodos	11
5 Resultados	12
6 Discusión de Resultados	13
7 Conclusiones	14

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

1.2. Justificación

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Sistema óseo

2.1.1. Generalidades

La estructura principal del sistema óseo son los huesos, definidos como tejido conectivo altamente especializado, que se distingue por la presencia de una matriz extracelular capaz de mineralizarse, este proceso se debe a la presencia del mineral fosfato de calcio en forma de **cristales de hidroxapatita**, lo que da como resultado la formación de un tejido duro, capaz de proveer sosten y protección al cuerpo humano, y no solo eso, la presencia de estos minerales propician que los huesos seas depositos de calcio y fosfato, ayudando con la concentración en sangre de estos minerales, dando paso a una regulación que permite la homeostasis.

Considerando al ser humano como objetivo de estudio, su sistema óseo le confiere no solo soporte, sino tambien protección a las cavidades en donde existe la presencia de organos vitales, de igual manera conforma la base mecanica que le permite desplazarse y moverse. Por otro lado, el sistemá óseo funge de manera hematopoyetica, es decir, produciendo células sanguíneas.

El tejido óseo esta constituido por dos organizaciones estructurales que poseen características distintivas. En la superficie externa del hueso se encuentra una capa densa, compacta, que se denomina **hueso compacto**, por otro lado en el interior del hueso se observa una estructura discontinua, que presenta cavidades en forma de red, conformada por espículas de tejido óseo definidas como trabeculas, la forma peculiar de esta estructura permite el paso de la medula ósea y de vasos sanguíneos que nutren al tejido óseo, cabe mencionar que parte del hueso compacto es la cavidad medular, que es una estructura tubular, en el centro del hueso, que no contiene trabeculas.

La medula ósea que se transporta por la cavidad medular de los huesos y por los espacios del hueso esponjoso esta compuesta por **médula ósea roja**, que se compone de células hematopoyeticas, que permiten la formación de globulos rojos, blancos y plaquetas, a su vez la medula ósea roja esta formada por una red de fibras y células reticulares que tienen la función de dar soporte a vasos y celulas en desarrollo. Lo anterior es valido en

etapas tempranas del desarrollo, al haber crecimiento, la demanda de producción de células sanguíneas disminuye, y solo ciertos huesos quedan encargados del proceso de hematopoyesis, como el esternon y las crestas iliacas, en todos los demás huesos, la medula roja ósea se transforma en tejido adiposo y se denomina **medula ósea amarilla**.

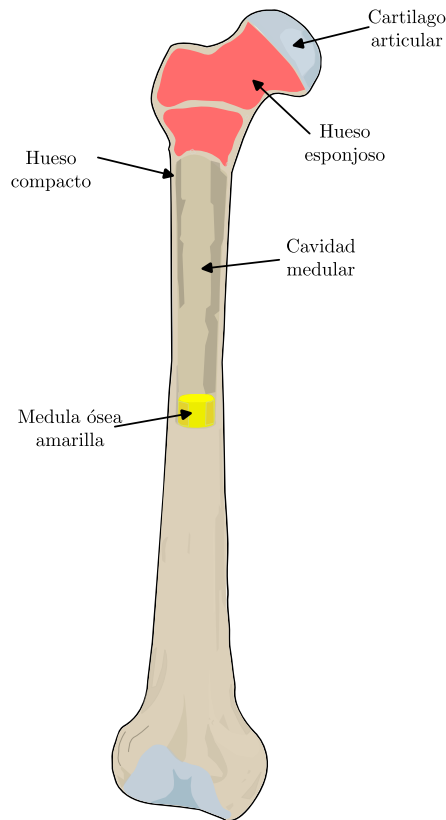


Figura 2.1: Ejemplo de la anatomía de un hueso largo

De manera anatómica el sistema óseo se divide en dos grandes grupos, el primero es el **esqueleto axial**, que comprende los huesos del cráneo (neurocráneo y viscerocráneo), cuello y el tronco. Por otro lado el segundo grupo se denomina **esqueleto apendicular** y esta formado por los huesos de los miembros superiores e inferiores, también incluye los huesos de la cintura escapular y pélvica. A su vez los huesos dentro de esta división se discriminan por su forma y tamaño, de tal manera que existen un total de 4 tipos de huesos distintos: los huesos largos, que se caracterizan por presentar una forma tubular, los huesos cortos que son cuboideos y se encuentran solo en el tarso y el carpo, los huesos planos que se designan así principalmente por su función de protección, sin embargo, dentro de su morfología sobresalen por tener muy poco espesor, por lo que tienen mayor cantidad de hueso compacto que de hueso esponjoso. La tercera clasificación son los huesos irregulares, los cuales no siguen un patrón específico en forma o función, pero si comparten no formar parte de ninguno de los otros grupos, por último están los huesos sesamoideos o también denominados huesos accesorio, estos se forman en consecuencia del uso excesivo de los tendones, por ejemplo la rótula de la rodilla conocida como patela.

2.1.2. Histología del sistema óseo

Estructura

Recapitulando, un hueso esta compuesto por dos clases de tejido, hueso esponjoso y hueso compacto, este ultimo en particular se encuentra conformado de manera estructural por complejos celulares en forma de laminillas concentricas a conductos especificos que permiten el paso de nervios y vasos sanguineos, conocidos como conductos de Havers o conductos osteónicos, esta unidad anatomofuncional del hueso compacto se conoce como osteona o sistemas de Havers. Es importante mencionar que las laminillas que se forman estan constituidas por matriz extracelular mineralizada, que en su interior posee distintas lagunas en donde se posan los osteocitos, que por su parte se alimentan del conducto osteonico a traves de conductillos. Los conductos osteonicos se encuentran comunicados con otros conductos osteonicos a traves de los conductos de Volkmann, la particularidad de estos conductos es que no se encuentran rodeados de laminillas concentricas de matriz extracelular, caractetistica importante para su distinción histologica.

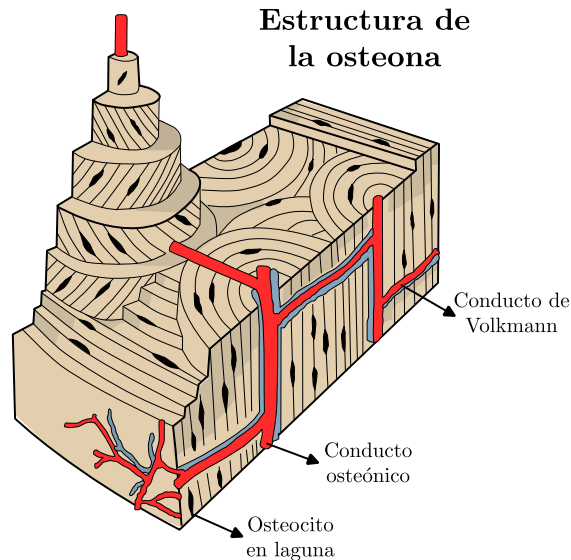


Figura 2.2: Estructura de una osteona

Por su parte el hueso esponjoso comparte una estructura semejante con el hueso compacto, sin embargo, se diferencian por la distribución espacial ya que el hueso esponjoso se distribuye formando espículas o trabéculas. La organización del tejido esponjoso le permite contener gran variedad de espacios medulares interconectados por donde pasa la medula ósea amarilla y roja.

De manera superficial los huesos se encuentran rodeados por **periostio**, que se encuentra conformado por una capa externa de tejido conectivo denso fibroso y una capa interna de células osteoprogenitoras, el periostio cubre a los huesos casi en su totalidad, ya que en las zonas donde el hueso se articula con otro ahí no hay tejido conectivo que recubra, sino se encuentra tejido cartilaginoso. Por otra parte las trabéculas del hueso esponjoso

se encuentran cubiertas por una capa delgada de tejido fibroso especializado de manera externa, por su parte la capa interna es esta compuesta por células osteoprogenitoras (que pueden diferenciarse a osteoblastos) y células de revestimiento también denominadas como células endólicas.

Componente celular

Hasta el momento se ha hecho mención de los distintos tipos celulares que conforman al tejido óseo, sin embargo no se ha explicado a detalle cuál es la función que desempeñan en el hueso. De primera mano el tejido óseo se encuentra conformado por cinco tipos celulares: células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos, células de revestimiento óseo y osteoclastos.

- **Células osteoprogenitoras:** También denominadas células precursoras de osteoblastos, participan en primer lugar en la osteogénesis, la cual es el proceso de formación de nuevo tejido óseo. Este tipo celular se mantiene en reposo hasta que exista una vía molecular que active su proceso de diferenciación con el que se transforma en osteoblastos y comienza a secretar matriz extracelular, por esta razón su principal lugar de alojamiento son en la superficie del tejido óseo ya sea en el periostio o en el endostio, también llegan a alojarse en los conductos de Havers y los conductos de Volkmann.
- **Osteoblasto:** Por su función es denominada como célula osteoformadora, la cual tiene como función principal la secreción de colágeno tipo 1 y proteínas de la matriz ósea, que constituyen al complejo inicial no mineralizado de la matriz extracelular, conocida como osteoide, entre las proteínas secretadas se encuentra la osteocalcina y la osteonectina, cuya papel está implicado en la fijación de calcio, por otro lado se encuentran ciertas glucoproteínas de multiadhesión. Otra de las funciones del osteoblasto es iniciar el proceso de calcificación, a partir de la secreción de vesículas matriciales.
- **Osteocito:** Después de que el osteoblasto ha secretado la matriz ósea suficiente para que este quede totalmente rodeado de ella, sus funciones del osteoblasto cambian y pasa a llamarse osteocito. Esta célula es responsable ahora de mantener la matriz ósea, para esto el osteocito participa en dos procesos la síntesis de matriz nueva y la degradación de la misma.

La degradación está relacionada con la muerte del osteocito, ya sea por traumatismos, vejez o apoptosis, lo que trae como consecuencia la resorción de la matriz ósea debida a la acción de los osteoclastos. Una vez que los osteoclastos finalizan el proceso de resorción de matriz celular, los osteoblastos se encargan del remodelo del tejido óseo.

- **Células de revestimiento óseo:** Son células encargadas de tapizar tejido óseo que no está siendo remodelado y son derivadas de los osteoblastos. Si la célula se encuentra revistiendo tejido superficial del hueso se les denomina como células periósticas,

2.2. DESEQUILIBRIO ENTRE LA SINTESIS Y LA RESORCIÓN DEL TEJIDO ÓSEO 6

en cambio si se encuentran revistiendo la superficie interna se denominan células endólicas.

El revestimiento superficial no es su única función, también intervienen en el mantenimiento y nutrición de los osteocitos, por otro lado se encargan de regular el movimiento de minerales como el calcio y el fósforo de la sangre al hueso y viceversa.

- **Osteoclastos:** Como ya se menciona, la función principal de los osteoclastos es la resorción ósea, proceso clave en para el mantenimiento homeostático del calcio en el cuerpo.

2.2. Desequilibrio entre la síntesis y la resorción del tejido óseo

En la sección anterior se hizo mención de las funciones que desempeñan los osteoblastos y los osteoclastos, estos tipos celulares llevan a cabo la **remodelación ósea**, en la cual los osteoblastos se encargan de la formación de tejido óseo nuevo y los osteoclastos reabsorben el tejido preexistente, de esta manera se cumplen dos objetivos específicos, el primero de ellos consiste en la reparación de microlesiones en los huesos, para poder conservar la fuerza del sistema esquelético, el segundo objetivo cumple con proveer al cuerpo la concentración sérica del ion calcio.

El hueso humano alcanza su máxima cantidad de masa ósea cuando es adulto, la literatura refiere que gran parte de esta masa ósea se obtiene en la pubertad por acción de las hormonas sexuales secretadas en este periodo, aunque es importante esclarecer que la magnitud de la masa ósea máxima está determinada por aspectos genéticos. Cuando se alcanza la masa ósea máxima, el cuerpo mantiene un equilibrio entre el tejido óseo que se reabsorbe y el que se crea, sin embargo, al pasar de los años y por diversos factores este equilibrio puede verse afectado. El caso a discutir en esta sección es cuando el desequilibrio se inclina hacia la resorción ósea, es decir, se está reabsorbiendo más tejido óseo del que se está creando, lo cual tiene distintas etiologías, ya que puede ocurrir que exista una disminución en la actividad osteoblástica, o que haya un aumento en la actividad osteoclástica o por otro lado exista un aumento en los sitios de remodelación ósea. Si el desequilibrio entre la resorción y producción de tejido óseo llega a afectar la arquitectura ósea, los huesos presentan daño a tal escala que se considera como irreparable, por lo que aumenta la fragilidad ósea y el riesgo de fractura, a esta afección se le conoce como **osteoporosis**

La osteoporosis se puede presentar por distintos factores, los principales están definidos por hormonas regulatorias, que al sufrir algún tipo de desbalance este se ve reflejado en la calidad de hueso, ya que puede haber pérdida de la masa ósea máxima, esta pérdida puede ser reparable cuando el daño no es capaz de afectar la arquitectura del hueso, cuando la resorción destruye la corteza y llega al tejido esponjoso del hueso la velocidad en la que hay pérdida ósea aumenta, de igual forma se afecta la conectividad trabecular del hueso, lo que en primer instancia provoca la formación de mayor cantidad de tejido poroso y por otro

2.2. DESEQUILIBRIO ENTRE LA SINTESIS Y LA RESORCIÓN DEL TEJIDO ÓSEO 7

lado existe una disminución de la fortaleza biomecánica, lo que aumenta la probabilidad de sufrir alguna caída.

Algunas de las hormonas que tienen una regulación en la remodelación ósea, modelando la velocidad en la que se activan nuevos sitios de remodelación son los estrógenos, andrógenos, la vitamina D, la hormona paratiroidea (PTH), ciertos factores de crecimiento como el IGF-I, IGF-II, TGF- β y miembros de la superfamilia del factor de necrosis (TNF). La remodelación ósea consiste en una resorción ósea encargada por los osteoclastos seguida de un periodo de reparación, en el cual los osteoblastos se encargan de sintetizar tejido óseo nuevo.

Las hormonas mencionadas en el párrafo anterior no se autoregulan, es decir, existe un sistema encargado de regular su actividad, es por ello que la activación de alguna de esas hormonas es debido a algún desbalance y actúan como de manera compensatoria. De esta forma se puede hablar de las principales causas que provocan el desequilibrio entre la resorción y la síntesis de tejido óseo:

- **Deficit en la concentración sérica de calcio:** La insuficiencia de calcio en la nutrición en el pleno desarrollo está relacionada con el aumento de la probabilidad de padecer osteoporosis en la etapa adulta. Cuando existe un bajo consumo de calcio cuando se es adulto provoca hiperparatiroidismo secundario y aumento en la activación de los sitios de remodelación como respuesta regulatoria de la concentración sérica del ion de calcio.
- **Vitamina D:** En la actualidad cada vez más personas presentan insuficiencia de vitamina D, algo que es multifactorial, pero que en los últimos años se ha visto causada por la poca o nula interacción de las personas con los rayos solares, incluso el uso de protectores solares contribuyen a la insuficiencia de esta vitamina. Dentro de las principales consecuencias de que las concentraciones en el cuerpo no sean las óptimas es la presencia de hiperparatiroidismo secundario compensatorio y es un factor de riesgo considerable para la predicción de osteoporosis y fracturas futuras. La vitamina D se encarga de la normalización de concentración del ion de calcio, también impide el incremento de la remodelación ósea.
- **Deficit estrogénico:** La descompensación en los niveles de estrógeno está principalmente caracterizada por el proceso de menopausia, en el cual existe una interrupción de la función del ovario, lo que trae consigo dos posibles efectos el primero de ellos está relacionado con la activación de nuevos sitios de remodelación, por otro lado el segundo efecto provoca una exageración en el desequilibrio entre la formación y resorción ósea.

La disminución en la concentración de estrógenos aumenta la producción de RANKL ligando que participa en reducir la síntesis de osteoprotegerina lo que a su vez trae consigo el aumento del reclutamiento de osteoclastos. Por su parte los estrógenos son importantes a la hora de determinar el tiempo de vida de las células óseas, se ha caracterizado que la disminución en los niveles de esta hormona trae consigo el aumento

2.2. DESEQUILIBRIO ENTRE LA SINTESIS Y LA RESORCIÓN DEL TEJIDO ÓSEO 8

en la vida de los osteoclastos y la disminución en la vida de los osteoblastos. Por todo lo anteriormente mencionado es por lo que se considera que la disminución de estrógenos exagera el desequilibrio entre la resorción y la formación de nuevo hueso. Los especialistas han observado que el principal afectado por esta exageración es el tejido trabecular, que se ve dañado de forma preferente, es por ello que en estos casos las fracturas tienen aparición en aquellos sitios donde el hueso trabecular desempeña un papel más importante en la resistencia ósea, como es el caso de las fracturas vertebrales.

- **Medicación:** Al día de hoy existen diversos medicamentos que son administrados en la vía clínica que tienen efectos negativos en el sistema óseo. Tal es el caso de los glucocorticoides los cuales han sido confirmados como causa frecuente de osteoporosis en el adulto, este no es el único medicamento que tiene implicaciones de este estilo, los anticonvulsivos incrementan el riesgo de osteoporosis, al afectar el metabolismo de vitamina D, por otra parte los inmunodepresores, utilizados en los trasplantes de órganos también están relacionados con el riesgo de osteoporosis.
- **Otros factores:** Falta de actividad física, enfermedades crónicas y tabaquismo (pasivo o activo)-

Es importante aclarar que hasta el momento el método de detección de la osteoporosis por excelencia es la determinación de la masa o densidad ósea, existen distintos métodos para obtener este resultado, por ejemplo la absorptometría por rayos X de doble energía, la absorptometría por rayos X por un solo nivel de energía, la tomografía axial computada cuantitativa y la ecográfica. Cada una de estas técnicas se encarga de dar un valor cuantitativo respecto a la densidad ósea, sin embargo, no son capaces de dar información cualitativa del estado de la arquitectura ósea, con el fin de indicar indicios de osteoporosis.

La absorptometría por rayos X de energía doble, por sus siglas en inglés denominado DXA (*dual-energy x ray absorptiometry*) es por el momento el método predilecto escogido por la mayoría de los hospitales para obtener razón de masa ósea, habitualmente se evalúa el estado de aquellos huesos que dependen en mayor medida del tejido trabecular para mantener una resistencia estable como son los huesos de la cadera y las vértebras lumbares. La técnica DXA consiste en la emisión de dos clases de rayos X de dosis bajas, lo cual permite obtener la densidad de mineral óseo promedio BMD por sus siglas en inglés (*bone mineral density*), una vez obtenido se comparará con los valores de densidad mineral ósea promedio en una persona adulta considerando su raza, su edad y su sexo, se hacen uso de distintas puntuaciones para determinar si el hueso muestreado es osteoporótico o no, de manera general se suele usar la puntuación T, la cual establece que si el valor de densidad mineral ósea cae por debajo de las 2.5 desviaciones estándar respecto a la media, entonces el hueso es osteoporótico, por otro lado el estadístico Z establece que la desviación estándar se debe encontrar a una unidad en desviación estándar respecto a la media.

A manera de ejemplo si una mujer de 78 años caucásica, se presenta a realizarse un estudio de densitometría y sus resultados arrojan que su puntuación T la coloca 2.5 desviaciones estándar por debajo de la media, que es lo mismo que decir que su resultado

fue de -2.5, entonces esta persona tiene osteoporosis, es importante mencionar que el estudio es valido si se practico en las vertebrae lumbrares, en el cuello femoral o en la cadera total. Hasta este punto se ha explicado la manera en la que se puede determinar si una persona es osteoporotica o no lo es, sin embargo, la evidencia arroja que las fracturas en cadera o en la región lumbar llega primero que el diagnostico de osteoporosis, ya que gran parte de las fracturas observadas ocurren en personas que en la que su puntuación T no es menor ni igual a -2.5. Lo que ha llevado a expertos en el campo a redefinir a la enfermedad como un riesgo de fractura y no como un valor de densidad mineral especifica.

2.3. Fracturas del femúr proximal

Capítulo 3

Objetivos

Capítulo 4

Materiales y Métodos

Capítulo 5

Resultados

Capítulo 6

Discusión de Resultados

Capítulo 7

Conclusiones